
Elektrotehnički fakultet u Beogradu
Katedra za računarsku tehniku i informatiku

Predmet: Operativni sistemi 1 (IR2OS1, SI2OS1)

Nastavnik: prof. dr Dragan Milićev

Školska godina: 2011/2012. (Zadatak važi počev od junskog roka 2012.)

Projekat za domaći rad

- Projektni zadatak –

Verzija dokumenta: 1.1

Važne napomene: Pre čitanja ovog teksta, **obavezno** pročitati opšta pravila predmeta i pravila vezana za izradu domaćih zadataka! Pročitati potom ovaj tekst **u celini i pažljivo**, pre započinjanja realizacije ili traženja pomoći. Ukoliko u zadatku nešto nije dovoljno precizno definisano ili su postavljeni kontradiktorni zahtevi, student treba da uvede razumne pretpostavke, da ih temeljno obrazloži i da nastavi da izgrađuje preostali deo svog rešenja na temeljima uvedenih pretpostavki. Zahtevi su namerno nedovoljno detaljni, jer se od studenata očekuje kreativnost i profesionalni pristup u rešavanju praktičnih problema!

Uvod

Cilj ovog projekta jeste realizacija malog, ali sasvim funkcionalnog jezgra (engl. *kernel*) operativnog sistema koji podržava niti (engl. *multithreaded operating system*) sa deljenjem vremena (engl. *time sharing*). U daljem tekstu, ovakav sistem biće kratko nazivan samo *jezgrom*.

U okviru ovog projekta, realizovaće se jedan podsistem ovog jezgra – podsistem za upravljanje nitima. Ovaj podsistem treba da obezbedi koncept niti (engl. *thread*), kao i usluge kreiranja i pokretanja niti, zatim koncept semafora i događaja vezanog za prekid, i podršku deljenju vremena (engl. *time sharing*).

Jezgro treba da bude realizovano tako da korisnički program (aplikacija) i samo jezgro dele isti adresni prostor, odnosno da predstavljaju jedinstven program. Konkurentni procesi kreirani unutar aplikacije biće zapravo samo "laki" procesi, tj. niti (engl. *thread*). Aplikacija i jezgro treba da se prevode i povezuju u jedan isti program, tj. da se pišu kao "jedinstven" izvorni kod.

U cilju demonstracije i lakšeg razvoja, testiranja i eksperimentisanja, jezgro i aplikacija treba da se izvršavaju na PC računaru, pod operativnim sistemom Windows (bilo kojim 32-bitnim), kao konzolna aplikacija.

Opšti zahtevi

Konstrukcija jezgra i odnos sa sistemom-domaćinom

Jezgro i korisnička aplikacija treba da se posmatraju kao jedinstven program (.exe) dobijen prevođenjem i povezivanjem koda na izvornom programskom jeziku u kome su realizovani. Oni treba da se pokreću unutar Windows operativnog sistema na PC računaru kao jedinstvena konzolna aplikacija (.exe), odnosno proces. Operativni sistem Windows biće tako nazivan *sistemom-domaćinom* (engl. *host system*).

Jezgro i korisnička aplikacija moraju da se regularno završe kao konzolna aplikacija, naravno ukoliko u samoj korisničkoj aplikaciji nema neregularnosti. To znači da po završetku svih niti pokrenutih u korisničkoj aplikaciji, ceo program treba regularno da se završi. Test primeri ispitivača biće regularni, pa svaki neregularan završetak programa znači neregularnost u samom jezgru.

U realizaciji jezgra nije dozvoljeno koristiti usluge operativnog sistema-domaćina koje se odnose na koncepte niti ili procesa, semafora, prekida, sinhronizacije i komunikacije između niti ili procesa, itd. Drugim rečima, sve zahtevane koncepte i funkcionalnosti potrebno je realizovati u potpunosti samostalno i "od nule".

U realizaciji jezgra dozvoljeno je koristiti samo standardne (statički povezivane) C/C++ biblioteke koje su potpuno prenosive, tj. nezavisne od platforme (hardvera i operativnog sistema). Nije dozvoljeno koristiti bilo kakve specifične biblioteke sistema-domaćina ili dinamičke biblioteke (DLL). Jezgro i korisnička aplikacija kao jedinstven program treba da budu regularno izvršivi na praktično svakom PC računaru; bilo kakva zavisnost od konkretnog hardvera ili konfiguracije računara nije ispravna. Taj program treba da bude potpuno samostalan i nezavisan od bilo koje druge softverske komponente. On treba da se izvršava jednostavno pokretanjem .exe fajla sa bilo kog medijuma.

Odnos jezgra i korisničke aplikacije

Jezgro treba realizovati na jeziku C++, uz opciono korišćenje assemblera za PC procesore. Korisnička aplikacija sadržaće test primere i biće obezbeđena kao skup izvornih fajlova koje treba prevesti i povezati sa prevedenim kodom jezgra i datom bibliotekom `applicat.lib` u jedinstven konzolni program (.exe). Data biblioteka sadržaće module koji se obezbeđuju kao moduli koji pristupaju (zamišljenom, virtuelnom) hardveru, u zavisnosti od zadatka, odnosno moduli od kojih će jezgro zavisiti (engl. *stub*), a čije su funkcionalnosti i interfejsi opisani u okviru samog zadatka.

Glavni program, tj. izvor kontrole toka korisničke aplikacije treba da bude u funkciji:

```
int userMain (int argc, char* argv[]);
```

Argumenti i povratna vrednost ove funkcije imaju istu ulogu kao i argumenti funkcije `main()`, koje i treba proslediti ovoj funkciji. Drugim rečima, argumente programa iz komandne linije sistema-domaćina treba proslediti funkciji `userMain()` i rezultat funkcije `userMain()` treba vratiti sistemu-domaćinu kao rezultat funkcije `main()`.

Funkcija `main()` može da ostane u nadležnosti samog jezgra, pa realizacija jezgra može da pod svojom kontrolom ima radnje koje će se izvršiti pri pokretanju programa od strane sistema-domaćina, a zatim može, na primer, da pokrene nit nad funkcijom `userMain()`.

Zadatak: Podsistem za upravljanje nitima

Uvod

Cilj ovog zadatka jeste realizacija podsistema jezgra za upravljanje nitima (engl. *thread*). Zahtevi u okviru ovog zadatka jesu realizacija:

- koncepta niti (engl. *thread*), uz operacije kreiranja i pokretanja niti;
- promene konteksta (engl. *context switch*) i preuzimanja (engl. *preemption*) i to na sledeće načine:
 - eksplicitnim zahtevom same niti (sinhrono, eksplicitno preuzimanje);
 - zbog pojave prekida (asinhrono, implicitno preuzimanje);
 - zbog isteka dodeljenog vremena (asinhrono, implicitno preuzimanje), kao podrška deljenju vremena (engl. *time sharing*);
- koncepta standardnog semafora;
- koncepta događaja (zapravo binarnog semafora) na kome samo jedna nit može da čeka blokirana, a koji se signalizira zdatim prekidom.

Koncept niti

Opis zadatka

Potrebno je obezbediti koncept niti. Sve niti pokrenute unutar aplikacije dele isti adresni prostor (statičke i dinamičke podatke), ali poseduju sopstvene kontrolne stekove na kojima se čuva trag ugnjeđenih poziva funkcija, kao i automatski podaci tih funkcija.

Nit se kreira nad određenom funkcijom i kada se pokrene izvršavanje niti, novi tok kontrole počinje od poziva te funkcije. Dalji tok niti zavisi od sadržaja te funkcije.

Potrebno je obezbediti sledeće operacije nad nitima:

- kreiranje niti: ova operacija samo kreira novu nit u jezgru nad određenom funkcijom, ali ne pokreće njeno izvršavanje;
- pokretanje niti: ova operacija pokreće novi tok izvršavanja nad funkcijom nad kojom je kreirana nit;
- uspavljivanje niti (engl. *sleep*): ova operacija suspenduje (blokira, „uspavljuje“) pozivajuću nit za zadati vremenski period;
- nasilno buđenje niti (engl. *wake up*): ukoliko je nit suspendovana (blokirana) iz bilo kog razloga, pozivom ove operacije nit će biti odblokirana i stavljena u red spremnih; ukoliko nit nije blokirana, poziv ove operacije nema efekta.

Rešenje treba da obezbedi mogućnost:

- kreiranja neograničenog broja korisničkih niti (gornja granica mogućeg broja korisničkih niti može biti ograničena isključivo raspoloživom memorijom);
- alokacije prostora za kontrolni stek niti maksimalne veličine bar 64KB (gornje ograničenje veličine steka mora biti najmanje 64KB, a ne mora biti veće).

Potrebno je da niti imaju još sledeće osobine:

- Identifikacioni broj: sistem treba da obezbedi da svaka nit prilikom kreiranja dobije jedinstveni identifikacioni broj (ID). Sistem takođe treba da obezbedi dohvaćanje niti samo na osnovu identifikacionog broja.

- **Korisnička identifikacija niti:** prilikom kreiranja niti korisnik može (ne mora) da zada naziv niti kojim on identifikuje tu nit u sistemu. Naziv niti u sistemu ne mora da bude jedinstven, ali se krajnjem korisniku preporučuje da koristi jedinstvene nazive. Ukoliko korisnik ne želi zadati naziv (zadaje vrednost *null*), sistem ga sam generiše tako što na tekst "thread" nadoveže ID niti. Neophodno je obezbediti mogućnost dobijanja identifikacionog broja (ID) niti na osnovu poznavanja naziva niti (ukoliko postoji više niti sa istim nazivom, vraća se ID prve niti koja se nađe). Takođe, potrebno je obezbediti mogućnost dohvaćanja naziva niti.

Niti na jeziku C++

Potrebno je koncept niti realizovati klasom `Thread` čija je kompletna definicija zadata u zaglavlju `thread.h` i izgleda ovako:

```
// File: thread.h

typedef unsigned long StackSize;
const StackSize defaultStackSize = 4096;
typedef unsigned int Time; // time, x 55ms
const Time defaultTimeSlice = 2; // default = 2*55ms
typedef int ID;
typedef char* TName;

class PCB; // Kernel's implementation of a user's thread

class Thread {
public:

    void start();
    int waitToComplete(); // returns: 1 - run completed, 0 - woken up
    int wakeUp(); // returns: 1 - deblocked, 0 - no effect
    static int sleep(Time timeToSleep); // returns: 1 - sleep completed, 0 -
    woken up

    ID getId();
    TName getName();
    static Thread * getThreadById(ID id);
    static ID getIdOf(TName name);

    virtual ~Thread();

protected:

    friend class PCB;
    Thread (TName name, StackSize stackSize = defaultStackSize, Time
    timeSlice = defaultTimeSlice);
    virtual void run() {}

private:
    PCB* myPCB;
};
```

Klasa `PCB` predstavlja implementaciju niti unutar samog jezgra i njena konstrukcija je u potpunoj nadležnosti samog rešenja. Podatak-član `myPCB` klase `Thread` ukazuje na objekat unutar jezgra koji realizuje datu korisničku nit (zapravo njen `PCB`). Na ovaj način, implementacija jezgra i korisnička aplikacija potpuno su razdvojene i kompilaciono nezavisne: korisnička aplikacija koristi samo klasu `Thread` i zaglavlje `thread.h` (koje ne treba menjati), tj. kreira objekte klase `Thread`, koji su jedan-na-jedan povezani sa objektima klase `PCB`. Klasa `PCB` je, sa druge strane, u isključivoj nadležnosti implementacije i praktično nedostupna i nevidljiva za korisničku aplikaciju. Sve operacije nad jednom korisničkom niti

kao objektom klase `Thread` jezgro treba da realizuje korišćenjem odgovarajućeg objekta klase `PCB` na koga ukazuje `myPCB`.

Parametri konstruktora klase `Thread` koji su opcioni (imaju definisane podrazumevane vrednosti ukoliko se izostave) zadaju veličinu memorijskog prostora koji treba alocirati za kontrolni stek niti, kao i veličinu maksimalnog vremenskog intervala koji se dodeljuje niti pri izvršavanju u umnošcima od 55 milisekundi (drugim rečima, vremenski interval se zadaje kao broj perioda između uzastopnih prekida tajmera).

Nit se kreira kao objekat klase izvedene iz klase `Thread`, a kod niti se zadaje redefinisanjem polimorfne operacije `run()`. Nit se pokreće pozivom operacije `start()`, a završava se implicitno, kada se završi operacija `run()`. Na primer:

```
#include "thread.h"

class Buffer;
class Data;

class Producer : public Thread {
public:
    Producer (Tname name, Buffer* buf, int numOfItems) : Thread(name),
myBuffer(buf), n(numOfItems) {}

protected:
    void produce();
    virtual void run();

private:
    int n;
    Buffer* myBuffer;
};

void Producer::run () {
    for (int i=0; i<n; i++) {
        Data* d = produce();
        if (myBuffer) myBuffer->put(d);
    }
}

int userMain (int,char*[]) {
    Producer* p = new Producer(...);
    p->start();
    ...
    delete p; // Here, the destructor invocation ensures
              // that the producer has finished
}
```

Operacija `Thread::waitToComplete()` blokira pozivajuću nit sve dok nit predstavljena objektom nad kojim se ova operacija izvršava nije završena. Destruktor klase `Thread`, osim drugih potrebnih radnji (brisanje niti iz jezgra), treba najpre da izvrši poziv baš ove funkcije `waitToComplete()`, kako nit koja poziva destruktora (u čijem kontekstu se želi brisanje objekta klase `Thread`), ne bi obrisala objekat klase `Thread` pre nego što je njena nit (zapravo funkcija `run()`) stvarno završila (razmisliti i objasniti zašto i kako bi ovde nastao problem).

Sistemiški mod

Opis zadatka

Kako se ne bi desilo da pri izvršavanju sistemskog koda (sistemiški mod) dođe do prepunjavanja korisničkog steka (steka korisničke niti) koji može biti blizu kraja dela memorije koji mu je obezbeđen, potrebno je obezbediti da se u sistemskom modu koristi poseban, sistemski stek. Za tu namenu nije potrebno alocirati novi stek već treba iskoristiti stek glavnog programa, odnosno stek sa kojim radi funkcija `main()`.

Prva akcija koju je potrebno preduzeti pri prelasku iz korisničkog moda (izvršavanje korisničkog koda) u sistemski mod je promena steka. Sve prekidne rutine se takođe smatraju sistemskim kodom. Pošto je moguće da se prekidi ugnezde, ili da se neke sistemske funkcije pozivaju i iz korisničkog moda i iz sistemskog moda, voditi računa da se promena steka vrši samo pri prelasku iz korisničkog moda u sistemski mod. Na kraju izvršavanja sistemskog koda, neposredno pre povratka u korisnički mod, potrebno je vratiti stek niti koja nastavlja sa izvršavanjem.

Promena konteksta i preuzimanje

Opis zadatka

Potrebno je realizovati promenu konteksta (engl. *context switch*) i preuzimanje u sledećim situacijama:

1. Na eksplicitni zahtev niti (sinhrono preuzimanje). Potrebno je realizovati funkciju `dispatch()` koja vrši eksplicitno preuzimanje i čija se deklaracija takođe nalazi u zaglavlju `thread.h`:

```
// File: thread.h
void dispatch();
```

2. Na pojavu prekida, ali samo uz korišćenje koncepta događaja koji će biti opisan naknadno.
3. Zbog operacije na nekoj sinhronizacionoj primitivi, tj. na semaforu ili događaju, kako je opisano kasnije (sinhrono preuzimanje).
4. Po isteku vremenskog intervala dodeljenog niti za izvršavanje (engl. *time slice*). Vremenski interval koji se dodeljuje procesu pri svakom povratku konteksta zadaje se prilikom kreiranja niti, kao parametar (umnožak od 55ms). Vrednost 0 ovog parametra označava da vreme izvršavanja date niti nije ograničeno, već će se ona izvršavati (kada dobije procesor) sve dok ne dođe do preuzimanja iz nekog drugog razloga.
5. Eksplicitnim pozivom operacija `wakeUp()` ili `sleep()`.

Važna napomena:

Ako u cilju realizacije raspodele vremena student preusmerava periodični prekid od hardverskog vremenskog brojača PC računara (prekidi broj 08h ili 1Ch), u redefinisanoj prekidnoj rutini treba obavezno da pozove funkciju:

```
void tick();
```

koja će biti implementirana u test-okruženju. Ovaj poziv treba da obezbedi da i test-okruženje bude "svesno" protoka vremena, pošto će protok vremena biti korišćen u određenim testovima i okruženju za simulaciju I/O uređaja.

Opis okruženja

Samo raspoređivanje, odnosno izbor niti kojoj će biti dodeljen procesor iz skupa spremnih niti, ne treba realizovati, pošto će ovaj modul biti obezbeđen spolja. Drugim rečima, ovaj modul koji će biti obezbeđen spolja sadrži i listu spremnih PCB-ova, kao i sam algoritam raspoređivanja. Deklaracije interfejsa ovog modula nalaze se u zaglavlju `schedule.h` i izgledaju ovako:

```
// File: schedule.h
class PCB;

class Scheduler {
public:
    static void put (PCB*);
    static PCB* get ();
};
```

Operacija `get()` vraća onu nit iz reda spremnih koja je po algoritmu raspoređivanja izabrana da bude sledeća za izvršavanje i izbacuje tu nit iz reda spremnih. Operacija `put()` smešta datu nit u red spremnih.

Posebne napomene

Prilikom realizacije koda za promenu konteksta i ostalih delova jezgra, studenti treba da budu maksimalno pažljivi, jer svaka, pa i najmanja greška može da uzrokuje razne neprijatne situacije u izvršavanju programa (neregularan završetak, blokiranje, pa čak i resetovanje računara). Student treba da bude svestan da je svaka ovakva pojava po pravilu uzrokovana nedostatkom u samoj realizaciji, a ne nekim drugim spoljnim faktorom. Sve ovakve nedostatke studenti treba sami da otkriju i razreše – bilo čija pomoć može samo da olakša rešavanje, ali nikako i da reši problem, ne zbog toga što neko drugi (uključujući i nastavnika i asistenta) ne želi da pomogne, već što jednostavno to nije u stanju. Ovo je zbog toga što je jedino autor ovako složenog programa u najboljoj situaciji da dobro razume njegovu konstrukciju i pronađe njegove nedostatke, a ovakva vrsta programiranja je uvek veoma osetljiva i logički zamršena.

Kada rešava ovakve probleme, student može da koristi pomoćne alatke (npr. debager), ali će mu one, na žalost, često biti od veoma male ili nikakve pomoći, jednostavno zato što su navedeni problemi najčešće asinhroni, sporadični i nereproducibilni (ne mogu se kontrolisano ponavljati). Zbog toga je veoma često najbolji, a ponekad i jedini način da se problem reši pažljiva analiza i razmišljanje o tome šta može biti uzrok problema. Da bi to postigao, student mora jako dobro da poznaje teoriju operativnih sistema, zatim način funkcionisanja hardvera i softvera sa kojim interaguje, a potom i da razume svaki detalj sopstvenog rešenja. Često je potrebno pronaći i proučiti dokumentaciju o hardverskom i softverskom okruženju na PC računaru, ali i u glavi simulirati razne scenarije događaja koji se ne mogu tačno reprodukovati u stvarnosti, već samo u mislima, kako bi se uočio problem.

Naredne napomene i preporuke predstavljaju samo deo ovakvih iskustava i činjenica koje treba imati u vidu prilikom realizacije:

1. Prilikom promene konteksta, treba voditi računa da se čuva i restaurira sve što čini kontekst.

2. Kada se preuzima (preusmerava) prekid iz postojećeg sistema, a to posebno važi za preusmeravanje periodičnog prekida sa vremenskog brojača, potrebno je obezbediti sledeće:
 - da se prilikom svakog prekida od vremenskog brojača pored radnji koje je student predvideo da se rade u prekidnoj rutini, obavezno obave i radnje koje sam sistem predviđa na periodični prekid; ovo se može jednostavno uraditi pozivom stare prekidne rutine (na koju je ukazivao stari vektor koji je preusmeren) iz nove prekidne rutine;
 - da se po završetku programa, tj. prilikom gašenja celog programa, restaurira stari vektor, kako bi sistem nastavio da funkcioniše korektno.
3. Potrebno je strogo voditi računa da su sve kritične sekcije samog jezgra propisno zaštićene od asinhronih "upada", tj. od asinhronih prekida.
4. Treba imati u vidu da bibliotečne funkcije koje su realizovane u standardnim bibliotekama za konzolne aplikacije najčešće nisu predviđene za konkurentan rad, ili da su eventualno bezbedne za konkurentan rad, ali samo ako se koriste procesi i niti samog sistema-domaćina, što u ovom slučaju nije dozvoljeno. Pošto će studentsko rešenje imati sopstvenu realizaciju niti, ove operacije po pravilu nisu bezbedne za konkurentan rad, tj. ne sme se dozvoliti da jedna nit započne bibliotečnu operaciju, a onda dođe do preuzimanja i druga nit započne tu istu operaciju (nisu *reentrant*). Ovo posebno treba voditi računa kod sledećih bibliotečnih operacija:
 - Operacije alokacije memorije (operator `new` na jeziku C++), pošto one pristupaju strukturama podataka ugrađenog alokatora dinamičke memorije izvršnog okruženja jezika.
 - Ulazno/izlazne operacije, recimo operacije ispisa na konzolu (operator `<<` na jeziku C++).

Mogući pristupi rešavanju ovakvih problema jesu:

- Obezbediti propisno međusobno isključenje na mestima u jezgru na kojima se ovakve operacije koriste.
- "Preoteti" opisane operacije, tj. prepisati ih tako da budu međusobno isključive, odnosno "umotati" ih u sopstvene istoimene operacije koje će pozivajući kod pozivati, a koje će obezbediti međusobno isključenje do bibliotečnih realizacija.

Iako ovo nisu jedini mogući uzroci navedenih problema, oni su najčešći. Studenti treba da obezbede odgovarajuća rešenja, ali tako da rešenja ne umanjuju konkurentnost više nego što je to potrebno. To znači da prekide treba maskirati samo onda kada je to zaista neophodno, ne više od toga. Maskiranje prekida preko potrebne mere smanjuje konkurentnost programa.

Ipak, bez obzira na poznavanje ovih problema, student će morati da uloži mnogo truda da napravi ispravno rešenje. Sigurno će sasvim uobičajena potreba biti nasilno gašenje programa od strane sistema-domaćina, a možda i resetovanje računara. Rešavanjem ovakvih problema na najbolji način se mogu razumeti i naučiti koncepti niti i promene konteksta. Naravno, cilj ovog projekta nije da studente muči bez razloga, već da ih na ovaj način uvede u vode pravog profesionalnog programiranja, čija je svakodnevica puna baš takvih problema!

Koncept semafora

Opis zadatka

Potrebno je realizovati koncept standardnog brojačkog semafora sa operacijama *wait* i *signal*. Operacija *wait* se razlikuje od uobičajene po tome što vraća rezultat tipa `int`. Ukoliko je nit deblokirana pozivom operacije *signal* nad tim istim semaforom, rezultat je vrednost različita od 0. U suprotnom, rezultat ima vrednost 0. Operacija *signal* je uobičajena. Ukoliko je vrednost semafora negativna, tada na semaforu mora biti onoliko blokiranih niti koliko je apsolutna vrednost semafora.

Poseban globalni indikator `semPreempt` tipa `int` (zapravo Bulov indikator) ukazuje na to da li prilikom svakog poziva neke operacije semafora treba ili ne treba vršiti preuzimanje. Ukoliko je vrednost ovog indikatora različita od 0, preuzimanje treba vršiti prilikom svakog poziva operacije na semaforu, čak i prilikom poziva operacije *signal* ili operacije *wait* iako se pozivalac ne blokira. Ukoliko je vrednost ovog indikatora 0, preuzimanje treba vršiti samo ukoliko se pozivalac operacije *wait* blokira, inače pozivalac treba da zadrži procesor (osim ukoliko ne postoje drugi navedeni razlozi za preuzimanje).

Semafor na jeziku C++

Potrebno je koncept semafora realizovati klasom `Semaphore` čija je kompletna definicija zadata u zaglavlju `semaphor.h` i izgleda ovako:

```
// File: semaphor.h

extern int semPreempt;

class KernelSem;

class Semaphore {
public:
    Semaphore (int init=1);
    ~Semaphore ();

    virtual int wait ();
    virtual void signal();

    int val () const; // Returns the current value of the semaphore

private:
    KernelSem* myImpl;
};
```

Klasa `KernelSem` predstavlja implementaciju semafora unutar samog jezgra i njena konstrukcija je u potpunoj nadležnosti samog rešenja. Podatak-član `myImpl` klase `Semaphore` ukazuje na objekat unutar jezgra koji realizuje dati semafor, tj. klasa `Semaphore` predstavlja samo omotač (*wrapper*) oko klase `KernelSem` i enkapsulira pozive svih njenih metoda. Na ovaj način, slično kao kod niti, implementacija jezgra i korisnička aplikacija potpuno su razdvojene i kompilaciono nezavisne: korisnička aplikacija koristi samo klasu `Semaphore` i zaglavlje `semaphore.h` (koje ne treba menjati), tj. kreira objekte klase `Semaphore`, koji su jedan-na-jedan povezani sa objektima klase `KernelSem`. Klasa `KernelSem` je, sa druge strane, u isključivoj nadležnosti implementacije i praktično nedostupna i nevidljiva za korisničku aplikaciju. Sve operacije nad jednim korisničkim semaforom kao objektom klase `Semaphore` jezgro treba da realizuje korišćenjem odgovarajućeg objekta klase `KernelSem` na koga ukazuje `myImpl`.

Koncept događaja

Potrebno je realizovati koncept događaja, koji predstavlja binarni semafor na kome može biti blokirana nit, a koji se signalizira prekidom. Drugim rečima, koncept događaja omogućava da se neka nit blokira čekajući na prekid. Na ovaj način može se realizovati koncept *sporadičnog procesa (niti)*, tj. procesa koji se aktivira na pojavu spoljašnjeg događaja (predstavljenog prekidom), obavlja neku svoju aktivnost, a potom ponovo blokira čekajući na sledeću pojavu istog događaja. Ukoliko se prekid dešava periodično, onda se isti koncept može iskoristiti za realizaciju *periodičnog procesa (niti)*.

Koncept događaja treba da omogući sledeće radnje:

- inicijalizaciju, zadavanjem broja ulaza u vektor tabeli (IVT) za čiji se prekid vezuje dati događaj; pri inicijalizaciji treba obaviti sve potrebne radnje, između ostalog i inicijalizaciju ili preusmeravanje starog vektora iz datog ulaza.
- operaciju *wait* kojom se pozivajuća nit blokira sve do pojave narednog prekida na datom ulazu. Rezultat ove operacije je tipa *int*. Ukoliko je nit deblokirana sa događaja pozivanjem operacije *signal*, kao rezultat se vraća vrednost različita od 0. U suprotnom, rezultat ima vrednost 0.
- operaciju *signal* koja deblokira niti blokirane na događaju i koju treba da pozove prekidna rutina koja je vezana za prekid događaja, a koju obezbeđuje korisnik; preciznije, korisnička prekidna rutina koja je vezana za isti ulaz u IVT za koji je vezan i događaj, treba samo da pozove ovu operaciju *signal* događaja koji odgovara tom prekidu.

Kada se dogodi prekid, treba uvek vršiti preuzimanje (naravno, pod uslovom da se izvršavanje ove prekidne rutine nije ugnezdilo u izvršavanje nekog drugog dela sistemskog koda), ali tako što će se deblokirana nit koja čeka na događaj najpre smestiti u red spremnih (operacijom `Scheduler::put()`), a onda iz reda spremnih uzeti naredna nit za izvršavanje (operacijom `Scheduler::get()`). To znači da se može dogoditi čak i da ista, prekinuta nit nastavi sa izvršavanjem, ili da to bude neka druga nit od onih koje su aktivirane prekidom, što zavisi isključivo od algoritma raspoređivanja koji je nepoznat i nedostupan delu jezgra koji realizuje student, pošto je enkapsuliran (sakriven) iza interfejsa zadatog u zaglavlju `schedule.h`.

Događaj na jeziku C++

Koncept događaja treba realizovati klasom `Event` čija je kompletna definicija zadata u zaglavlju `event.h` i izgleda ovako:

```
// File: event.h

typedef unsigned char IVTNo;

class KernelEv;

class Event {
public:
    Event (IVTNo ivtNo);
    ~Event ();

    int wait ();
    void signal();

private:
    KernelEv* myImpl;
};
```

Klasa `KernelEv` predstavlja implementaciju događaja unutar samog jezgra i ima isti smisao kao i klasa `KernelSem` za semafor.

Takođe, pošto prekidna rutina ne može da bude nestatička metoda neke klase, za implementaciju opisanog sistema događaja potrebno je implementirati klasu `IVTEntry` i makro `PREPAREENTRY`. Klasa `IVTEntry` treba da enkapsulira sve podatke i operacije nad tim podacima koji su potrebni za evidenciju svih događaja vezanih za neki prekid. Ova klasa treba da obezbedi mogućnost dohvatanja pokazivača na objekat `IVTEntry` koji je vezan za zadati ulaz jer će jedini parametar konstruktora događaja biti redni broj ulaza u IVT. Makro `PREPAREENTRY` treba da za korisnika generiše definicije svih potrebnih podataka i funkcija za jedan ulaz u IVT. Makro treba da prihvata dva parametra, prvi je broj ulaza za koji se generišu definicije i na osnovu kojeg makro svaki put generiše drugačije nazive definisanih promenljivih i funkcija, a drugi logička vrednost koja govori da li treba pozivati staru prekidnu rutinu (1 – treba, 0 – ne treba). Objekat i funkcija koje je neophodno definisati su:

- objekat tipa `IVTEntry` u kojem će biti sačuvani svi potrebni podaci vezani za ulaz za koji se definiše objekat;
- prekidna rutina koja svaki put kada je pozvana treba da pozove signal na događaju koji je vezan za taj ulaz; sve potrebne informacije se čuvaju u objektu tipa `IVTEntry`.

Testovi

Javni testovi

Javni test-program predstavlja sistem od nekoliko proizvođača (engl. *producer*) i jednog potrošača (engl. *consumer*) koji razmenjuju podatke preko ograničenog bafera (engl. *bounded buffer*). Proizvođači i potrošači su realizovani kao niti, a ograničeni bafer kao pasivni objekat (struktura) sa međusobnim isključenjem i uslovnom sinhronizacijom obezbeđenim pomoću semafora. Podatak koji se jedinično upisuje i čita iz bafera jeste jedan znak (`char`).

Proizvođači su sledeći:

- N ($1 \leq N \leq 20$) niti nad istim kodom koje ciklično generišu po jedan znak i stavljaju u bafer.
- Jedna nit koja se aktivira na prekid sa tastature (na svaki pritisak tastera), očitava pritisnuti taster i znak tog tastera stavlja u bafer.

Potrošač ciklično uzima znak po znak iz bafera i ispisuje ga na standardni izlaz.

Kada se na tastaturi pritisne taster Escape, program obezbeđuje da se sve niti propisno gase, pri čemu se potrošač gasi tek kada isprazni ceo bafer (pre gašenja ispisuje poruku da je sve regularno završeno).

Ovaj test program testiraće se u dve varijante: kada sve niti imaju neograničen vremenski interval (parametar `timeSlice=0`), i kada sve niti imaju podrazumevani vremenski interval (parametar `timeSlice=defaultTimeSlice`).

Javni test program dat je u arhivi `javni_test.zip`.

Tajni testovi

Tajni testovi proveravaju sve aspekte navedenih zahteva, i to:

- propisno kreiranje i gašenje niti;
- ispravno konkurentno izvršavanje niti u slučaju determinističkog izvršavanja (eksplicitno preuzimanje, nema prekida niti isteka vremenskog intervala, deterministički algoritam raspoređivanja, sinhronizacije primitive);

- ispravno konkurentno izvršavanje sa deljenjem vremena u slučaju nedeterminističkog izvršavanja (ograničen vremenski interval, sinhronizacione primitive);
- ispravno aktiviranje niti na prekide.

Testovi koji ispituju slučajeve sa nedeterminističkim ponašanjem (ograničeni vremenski interval, postojanje prekida), mogu i da postepeno povećavaju opterećenje sistema (sve manji vremenski interval, sve češći prekidi), sve do granice do koje sistem to može da obradi. Sistem treba da bude što je moguće otporniji na ovakva opterećenja, u smislu da u slučaju preopterećenja i dalje nastavi da radi i da se propisno gasi, ali sa degradiranom funkcionalnošću (ne izvršava sve zadate poslove, ne odgovara na sve prekide i slično, ali ipak i dalje radi – ne pada).

Testovi performansi

Testovi performansi mogu da ispituju sledeće parametre sistema:

- režijsko vreme promene konteksta;
- režijsko vreme operacija sa semaforom;
- vreme odziva na prekid;
- broj konkurentnih niti koje se mogu pokrenuti i izvršavati dok sistem ne uđe u preopterećenje;
- broj niti koje se mogu uspešno raspoređivati sa sve manjim vremenskim intervalom;
- zauzeće memorije za strukture koje realizuju PCB, semafore i događaje;
- druge vremenske i prostorne parametre i ograničenja sistema.

Zaključak

Potrebno je realizovati opisane podsisteme jezgra prema datim zahtevima na jeziku C++. Kao integrisano okruženje za razvoj programa (engl. *integrated development environment*, IDE) zahteva se Borland C++ 3.1 radi obezbeđenja kompatibilnosti sa testovima. Opcije prevođenja i povezivanja biće naknadno propisane.

Pravila za predaju projekta

Projekat se predaje isključivo kao jedna zip arhiva. Sadržaj arhive podeliti u dva foldera: *src* i *h*. U prvom folderu (*src*) treba da budu smešteni svi *.cpp* fajlovi koji su rezultat izrade projekta, a u drugom folderu (*h*) treba da budu svi *.h* fajlovi koji su rezultat izrade projekta. Opisani sadržaj ujedno treba da bude i jedini sadržaj arhive (arhiva ne sme sadržati ni izvršne fajlove, ni biblioteke, ni *.cpp* i *.h* fajlove koji predstavljaju bilo kakve testove, niti bilo šta što iznad nije opisano). Projekat je moguće predati (*upload*) više puta, ali do trenutka koji će preko *e-mail* liste biti objavljen za svaki ispitni rok i koji će uvek biti pre ispita. Na serveru uvek ostaje samo poslednja predata verzija i ona će se koristiti na odbrani. Za izlazak na ispit neophodno je predati projekat (prijava ispita i kolokvijumi su takođe preduslovi za izlazak na ispit).

Sajt za predaju projekta je <http://rti.etf.rs/rti/os/os1/index.php>

Zapisnik revizija

Ovaj zapisnik sadrži spisak izmena i dopuna ovog dokumenta po verzijama.

Verzija 1.1

Strana	Izmena
5	Funkcija sleep je statička funkcija klase Thread